大谷石の地質と採掘に関連する破壊について

安 藤 武 *

On the Geology of Oya Building Stone and Its Destruction by Excavation

by Takeshi Ando

Abstract

For the purpose of disaster prevention caused by excavation of Building stone, many fundamental investigations were carried out.

- 1) The Oya stones have been excavated as building stones since olden time and as a result many enlarged caves have been remained under ground.
- 2) Oya stones are divided into three stratum, hard-coarse (Koshitu-arama), soft-coarse (Nanshitu-arama) and fine (Saime) textures, in ascending order. Especially, in the portion of the fine texture stones, rock-falls and depressions were occurred remarkably.
- 3) Characteristic fracture systems are of NW and NE directions filled by fissure clay, that is, clinoptirolite. The distribution chart of the fracture systems in the fine texture rock are illustrated in Figs.

* 地質調査所応用地質部

1966年8月5日受理

1. ま え が き

栃木県宇都宮市大谷町地域で採掘される大谷石は、石材として古くから採掘され、これまでの採掘によつて生じた大きな地下空洞が到る処に残存している。なお、現在も機械化による採掘が進んでおり、年産は60万屯以上（昭和40年、約27億円）におよんでいる。これがため、たえず陥没や落盤の危険におかれている。大谷地域では陥没・落盤・崩壊などによる災害を度々おこしていたが、昭和37年7月に約3,300m²の陥没が発生し、これによる公災害が問題とされるに至つた。この結果として、宇都宮市に「大谷石採掘公害防止対策協議会」が、採石業者によつて「大谷石材公災害対策協議会」が組織・設置された。さらにこれらを総合して「大谷採石地域公害対策要綱案」が東京通産局でとりまとめられ、38年1月23日付でその実施が関係方面に通知された。同対策要綱は、関係機関の連けいによつて、地質測量調査の実施・施業基準の作成・危険地域の設定・採石業者に対する施業勧告などの災害防止の措置を実施しようとしたものである。

まず地質測量調査を実施して坑内採石の実態を明らかにすることが急務とされた。これがため「大谷採石地域地質測量調査計画」が立案された。この結果、東京通産局で測量調査を実施することになり、これと共に筆者等が地質調査を担当するに至つた。東京通産局の坑内測量図を使用したため、測量の完了地区から地質調査に着手した。3箇年計画で実施し、多数の事業場について調査したものであるが、ここに要旨をのべる。

この調査研究は大谷石の地下採掘によつて発生する災害防止に必要な基礎的資料を得ることを目的とした。測量調査によつて地下採掘の実態が明らかにされた。これと共に、坑内図にもとづいた地質調査によつて、大谷石の地質構造・岩質・断裂系・破壊状況などの特徴が明らかにされた。しかし、落盤・陥没などの現象発生を考察することは、構造地質学と構造物理学の境界領域に属する多くの問題を含んでおり、採掘と災害防止の関連についてはなお今後の検討が要望される。

2. 大谷石の採石状況

宇都宮市大谷町を中心とした南北約3.6Km、東西約1.8Kmの地域で採掘され、現在100箇所以上の大小さまざまな事業場を散在している（図-1）。大谷石は建築用石材および土木用石材として広く利用され、きわめて古くから採掘されてきたが戦後は復興器材として生産が増加し、とくに最近では土地造成などとも関連して生産量はいちじるしく延びている（図-2）。採掘については、昭和30年に機械化の実用に成功し、昭和34年頃には全ての採石場が機械化されるに至つた。このため、手掘り時代には開発できなかった深部あるいは硬質の石材まで採掘されるようになり、これと同時に採掘の速度はいちじるしく早くなつていく。

露天掘りはほとんどみられないようになり、また地下浅い部分の採掘も少なくなり、多くの事業場が深い処で採掘されるようになってきた。採掘跡は坑内測量図に示されている。採掘のもつとも深い処は

地下110m前後に達しているものが数箇所ある。坑内で採掘される1つの丁場は、一般に通りを天盤とし、10~12m×8~10m程度の矩形を単位とし、その掘り下げは数mから40m前後におよんでおり、採掘跡は全て空洞として残存する。チエン式の垣根掘り機および平場掘り機による採掘で、いずれも角のある大谷石独自の採掘方式である。事業場の位置による採掘の深さは地質構造による岩質に支配されている。次の10地区に分けられる。

1) 坂本地区……主として細目が採掘される。

2) 互作地区……主として細目が採掘されるが、西側では軟質荒目が採掘される。

3) 立岩地区……細目と軟質荒目が採掘される、過去には細目が多く採掘されたようである。

4) 大谷地区……軟質荒目が採掘される。

5) 荒二地区……軟質荒目が採掘される。

6) 戸室・湯場山地区……軟質荒目が採掘される。

7) 申田地区……硬質荒目が採掘される、過去には上部で軟質荒目が採掘された。

8) 日向地区……硬質荒目が採掘される。

9) 岩原地区……硬質荒目が採掘される。

○ 採石事業場 地区別

- 1 坂本地区
- 2 互作地区
- 3 立岩地区
- 4 大谷地区
- 5 荒二地区
- 6 戸室・湯場山地区
- 7 申田地区
- 8 日向地区
- 9 岩原地区
- 10 岩本地区

図-1 大谷石の事業および地区別

図-2 大谷石の生産量(1953~1963年)

れる。

10) 岩本地区……硬質荒目が採掘される。

細目層の分布と細目の岩質がとくに落盤・陥没の破壊現象と結びついており、細目地区で災害がおりやすい。

3. 地質および石材

大谷石は第三紀中新世に生成された代表的な熔結凝灰岩であり、無層理塊状の岩体をなし、膠結組織気泡組織が発達した流紋岩の浮石質である。拳大～胡桃大～小豆大の「みそ」と称する包裹物に富んでいる。

第四紀の沖・洪積統は大谷石を不整合に被覆し、黒土～赤土～ローム層（白～黄色の火山灰）～軽石（鹿沼土）～粘土層および砂礫層からなる。大谷丘陵地東側の鎧川流域の低地帯では砂礫層の厚さが10数mに達している。この砂礫層は多少の砂・粘土を含んでいるが拳大の礫が多く、かなり目立つた帯水層として存在する。

石材として採掘される大谷石の層をB層としたが、これは岩質と通りによつて3層に分けられる。層の厚さは一般的な傾向として東側に向つて漸次厚くなる。この上位にあつて商品とならない大谷石をA層、下位にあつて石材として採掘されない大谷石をO層とした。

(1) 細目層

細目はみそが小さくかつ少ないものであり、もつとも良質の石材とされる。細目として採掘される層は、坂本地区では厚さ2mから2.5m前後であり、西側で薄く、東側で厚くなっている。ほど平均6度前後で南々東に傾斜し、西側では浅く、東側では深くに分布する。坂本地区から北側の瓦作地区にかけては層厚が多少厚くなっているようである。細目層の上部には商品とならないため採掘されない大谷石のA層を分布する。下部には厚さ3m前後の通りを存在し、これを境として軟質荒目に移り変っている。なおこの境の通りには厚さ1～2mのバカ石を随伴し、㊥～㊦地区では粘土を伴つた横キズを存在する。

(2) 軟質荒目層

軟質荒目は割合に大きなみそを含んでいる石材である。細目および軟質荒目では流紋岩片は含有されない。軟質荒目層は挟まれる通りによつてさらに上・中・下の3層に分けられるが、この区分は岩

質を変化するほど明確なものでない。時にこれらの通りがその上下の石材と共に採石されることがある。戸室・湯場山地区では、中層と下層が採掘され、それぞれの層厚は9m前後であるが、その間に10m前後の通りを存在する。軟質荒目層の下位には明確な通りを存在し、これを境として硬質荒目層に移り変っている。この通りは申田地区で10～20m、日向地区で30m前後の厚さを有する。戸室・湯場山地区では硬質荒目まで採掘されていないのでその厚さは明らかでない。

(3) 硬 質 荒 目 層

硬質荒目はみその大きさは軟質荒目と類似しており、商品としては区別されず、両者とも荒目として取り扱われている。この石材は青つぶと称する径数cmの流紋岩片、小砂利と称する流紋岩粒を多く含有する。ときに黒つぶと称する黒曜岩の岩片を含むことがある。石材として採掘される最下位の大谷石である。この層の下部はいちじるしく硬質となつている。

(4) 通 り

比較のみそが大きくかつ多い部分を通りと称している。この通りはほぼ層状に配列し、地層区分の鍵層となつている。厚さは1m前後から30m前後に達するものまで存在する。含まれるみその大きさは、大きなものでは24×13cm前後のものまで存在する。形は一般にだ円形である。通りは商品価値がないので、立坑開発などを除いては、一般に採掘されない。しかし通りと称されるような部分でも薄い層あるいはみそが比較的小さいときなどでは採掘される例がある。

坑内では通りの下部から垣根入れを行なつて平場掘りに移る採掘方法を採用している。

このため天盤に通りを残す。通りはみそが大きくかつ多いので一見して弱いようであるが、地層としては割合に強い。大谷丘陵西側の姿川流域で大きな露頭となつている大谷石は通りに相当するものが多い。これは風化浸食に比較的天ややすいことを示すようである。みその周辺にはみそぶたと称する硬い部分が存在する。これはみその成因と関連するものと思われるが、珪化作用（主として蛋白石化）によるものであり、さらに通りそのものが多少珪化されているようである。大谷石岩体における通りの存在は、地質構造・採石状況・落盤発生などに関連を有し、特徴的な役割りをなしている。

(5) バ カ 石

石材とならない大谷石をバカ石と称している。これにはいろいろな種類のものが存在する。一般に断裂系に伴う変質岩、表土の下部で風化を受けている大谷石などを指す。また商品とならないA層の大谷石を指すことがある。

(6) み そ

新鮮なみそは暗緑色・青色・黒色などを呈する緻密な粘土質のものである。地表では容易に風化し、赤褐色となり、石材から風化脱落する。みそはX線回析によると、133・447・253および150Åの回析線が検出される。みその化学成分および鉱物は明らかにされていないが、鉄分の多い特種なモンモリロナイトに相当する性質を示す。代表的なみそ7ヶの平均含水率は45.2%（38.0～

55.2%)である。

石材は石質以外に外観の色相によつて、白目と青目に区分される。手掘り時代には丘陵地で白目が多く採掘されたが、現在の深部採掘では青目が採掘される。青目は一般に緑色を帯びた暗灰色を呈する。

4. 断裂系について

大谷石は割目の少ない岩体であるが、きわめて特徴的な断裂系が発達している。初生的な断裂系は採掘によつて二次的に発生した亀裂とは明らかに区別される。主要な断裂系は、割目粘土およびバカ石を伴っている。割目の中心は0.1mmないし3cm程度の巾をもつた粘土で充填され、この両側にバカ石と称する変質岩を数cmないし数mの巾をもつて存在するものから構成されている。それぞれの断裂については、粘土およびバカ石の巾はほぼ一定している。これらの断裂系はほとんどが $70^{\circ}\sim 90^{\circ}$ の立キズとして存在し、ほぼ直線的に岩体を切つている。採掘跡では、見事に発達する断裂系として存在し、直線的に100m以上連続しているものが多くみられる。

断裂系は一般に粘土とバカ石からなる比較的簡単なものが多いが、時に多少軟質脆弱な部分あるいは空隙状の部分に伴っているものが存在する。これらは生成当時ないしその後の地質時代に多少もまれたことによるものであろう。本新坑では巾110cmの断裂があり、黒色粘土と破砕岩塊からなっているものがみられたが、このように巾

の広い断裂は例外的に存在したに過ぎない。また硬すじをなす割目で、その面が鏡肌状をなすものがまれにみられる。鏡肌状の割目の面は硫化鉄の条痕によつて黒くなつていますが、この割目の面は比較的強く、ハンマーではく離されるような状態のものである。

大谷石岩体には、NW-S E系とNE-SW系の2大断裂系が存在した。前者が優勢であり、N $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ Wで傾斜は $70^{\circ}\sim 90^{\circ}$ のものが大部分を占める。後者はN 40° E前後で $70^{\circ}\sim 90^{\circ}$ のものが多し。この2大断裂系は稀に交叉するものがみられる程度で不思議

図-3 断裂系の走向傾斜を示す投影図Ⅰ
坂本地区の断裂系163本について

議なほど交わる事が少ない。とくに細目地区ではNW-SE系の断裂のみが集中的かつ平行的に発達している。図-3は坂本地区(細目地区)の断裂系163本をContour diagramに投影し、断裂系の方向性と傾斜の特徴を示したものである。なお図-4は瓦作・大谷・荒二地区の走向・傾斜を測定した主な断裂系96本をContour diagramに投影したものである。図-5, 図-6および図-7は坂本地区の深い処で探掘される事業場における断裂系の分布を例として示した。約60ヶ所の事業場について調査したがこゝでは略す。

図-4 断裂系の走向傾斜を示す投影図Ⅱ
瓦作・大谷・荒二地区の断裂系96本について

断裂系が破壊因子として1つの重要な役割をなしているが、交叉する断裂の少ないことおよび断裂が立つてゐることは、いろいろな点で大谷石の採掘に幸いしている。断裂系は一般的な傾向として、細目地区に分布頻度が高く、次いで軟質荒目地区に多少分布し、硬質荒目地区ではもつとも少ない。大谷石の断裂系は、せん断性の割目とみなされるものは少なく、大部分が張力性の割目として発達し粘土質で充填される。成因的には熔結凝灰岩としての続成期における大きな節理と解されるようである。

断裂系の割目粘土はほとんどClinoptirolite(沸石の1種)からなる。X線回析によると、Clinoptirolite特有の多数のピークが鋭く現われた。

図-5 坂本地区(正)上坑内図

$$S = \frac{1}{500}$$

图-6 坂本地区[半]坑内图

$$S = \frac{1}{500}$$

昭和39年11月

図-8 採掘深度の位置(主な採掘跡について)

(1) 坂本地区

① 2号坑
立坑 - 44.3m

② 3号坑
立坑 - 46m

③ 立坑 - 27.6m

④

⑤ 立坑 - 29.5m

⑥ 立坑 - 44m

⑦ 立坑 - 65.1m

⑧ 立坑 - 68m

⑨ 立坑 - 73m

⑩

備考

1. 主は採掘跡を示す

2. 坑内の広がり平面図参照

(2) 申田地区

(3) 日向地区

(4) 户室、湯場山地区

③ 3号坑試験堀り丁場

④ 1号丁場

③ { 細目層 4m(西側) ~ 15m(東側)
通り 3m(バカ石 2m, バト 1mあり)
荒目層 平場堀り下げ試験

④ { 細目層 3m(西側) ~ 10m(東側)
通り 3m(平キズ, バカ石有り)
荒目層 平場堀り下げ

1 ③ ④ ⑤ 地区の細目はほとんど探堀

2 下位の荒目を探堀

図-9 坂本地区の細目と荒目の関係

図-10 断裂系割目粘土のX線回析図

表 - 1 断裂系割目粘土の X 線回析線

C - 1 立岩地区◎		C - 2 瓦作地区△		C - 3 瓦作地区△		C - 4 荒二地区▽		C - 5 坂本地区□		C - 6 申田地区◎	
d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
				11.32	28 b	10.15	17 b				
9.09	47 s	9.09	46 s	8.83	46 s	8.75	35 s	8.41	15 s	8.58	16
7.96	15	8.04	10 b	7.75	15 s						
6.82	8	6.81	6								
5.13	8	5.13	18								
4.66	10 s	4.68	10 b								
4.46	15 b										
		4.38	10 b			4.39	8 b			4.25	14
4.07	39 b	4.07	26								
				4.01	16						
3.97	46	3.98	33								
				3.94	19 s	3.91	49 s	3.91	16		
3.42	18	3.42	16								
				3.38	11	3.37	18				
3.33	13 b	3.31	17	3.31	15 b						
						3.27	11				
		3.22	15	3.21	12						
3.17	14 b	3.15	15 b	3.15	13	3.13	15				
2.97	22 s	2.99	21 s	2.95	19 s	2.94	29 s	2.92	8	2.92	7
2.79	10 s	2.79	11			2.77	14 s				
2.73	8 s	2.73	8	2.71	7 b	2.70	7				
2.52	10 b	2.50	8 b	2.53	13 b	2.53	6 b	2.52	5 b	2.52	5 b
				2.43	5 b	2.41	7 b	2.45	5 b		

X線測定条件 (gaigarflex)

Cu; Ni; 30KV; 10mA; 8-1-4, 2°/min; 1cm/min.

走査範囲 2°~65°

備考 回析線は Zeolite (Clinoptirolite) に相当する。

5. 破壊状況について

地下を採掘することによつて生じる落盤・亀裂・陥没などの破壊現象がみられるが、これらはいろいろな要因からなりたっている。まず第1に、岩質による違いがいちじるしく、細目の採掘地帯で破壊現象が多く発生しており、荒目地帯では割合に少ない。ついで地質構造による採掘位置の深さ、採掘規模による坑内の広がりなどによる違いがある。さらに採石している丁場の場合、採掘跡の新旧などによる違いがある。

細目の比較的深い事業場では、天盤の角付近がもめて落盤し、天盤の中ほどが浮いて落盤し、あるいは小さな落盤が漸次1つの丁場全般に拡がつたりしているものがある。柱の角の部分がはね落ち、天盤の段違いの角の部分がはね落ちている。丁場の掘り下げでは数10尺の処からだてぎわの1～2列が石割れして石材とならない底盤落盤をおこしていることがある。時に掘り掘げと共に数段に1度位でボーンと音を立てて浮き上るような例もある。底盤落盤が割合に多いことが注目される。丁場付近の柱に亀裂が発生すると天盤あるいは下盤のもめが一時的に止まることが多いといわれる。また垣根入れを行なつた時にもめる丁場はその後の採掘で落盤しやすい。以上のような現象は荒目地帯では比較的深い処で採掘していてもほとんどみられない。細目の比較的深い事業場で、しかも比較的新しい採掘跡でみられる天盤の落盤・柱の落盤・段違いの落盤・底盤落盤および亀裂の発生は、地圧による応力の異状、主として局所集中応力によるものとみなされる。大谷石岩体の如き弾性体では、圧縮歪の変位は非常に小さいが、力はきわめて強いようであり、また採掘による圧縮歪が伸びようとする力は亀裂のような空隙の発生によつて減少するものとみなされる。山はねのような落盤がみられることは注目される。

残柱などにおける二次的な亀裂の発生は、細目の古い採掘跡に多い傾向があり、風化の影響・坑内の乾湿・温度変化などによるものがあり、また長い間のゆるみ荷重の増加によると思われるものもある。互作地区の古い採掘跡である①～④などでは残柱に開きとずれを生じている亀裂が多く存在した。そのほか古い採掘跡では、ゆるみ荷重による落盤とみなされるものが多少発生している。これらは断裂系に沿つた処、二次的な小亀裂が断裂系と交わる処などに発生しやすい。時に2大断裂系の交点に大きな落盤が発生していることがある。

陥没の状況および前駆現象については、いろいろなことが現場で聴取されあるいは視察された。大きな陥没は、細目が浅くに分布し、これが採掘された地帯に発生している。したがつて、表土が比較的厚く、天盤の厚みが薄い所にみられ、また残柱率が割合に小さい所である。構造的な割目である断裂系を境としており、新しい陥没は以前の陥没地区に隣接しておこつている。陥没の前兆は多かれ少なかれかなり前から現われるようである。坑内の落盤頻度が目立つて増加したり、落盤箇所が移動したり、二次的な亀裂が増加したり、あるいは湧水箇所が移動したりする。なお構造的な割目が動くとは危険であるといわれる。細目が浅くに分布し、これがほとんど採掘しつくされた地区で、この下位にある荒目を採掘しようとする傾向が認められる。これは大きな陥没をおこす危険を増大するものと考察される。

参 考 文 献

1. 栃木労働基準局(1962) : 大谷石材採掘業に関する資料
2. 東京通産局(1962) : 大谷採石地域公害対策要綱
3. 栃木労働基準局(1963) : 大谷石採掘基準案
4. 地質調査所(1956) : 日本鉱産誌Ⅶ(土木建築材料)
5. 中沢次郎・藤本弁蔵・佐藤優・宇野沢昭(1960) : 大谷石採石場付近の災害防止のための基礎調査
6. 木村蔵司(1960) : 鉄筋補強大谷石壁体強度の研究
7. 労働省労働基準局安全課編(1960) : 落盤災害の防止
8. 全国建設業協会発行(1962) : ずい道工事の安全(落盤防止編)
9. 須藤俊男・林久人・西山勉・陳賢臣(1963) : フツ石の鉱物学的諸問題, 粘土科学, Vol. 2, № 3
10. 岩生周一(1963) : ゼオライトの産状とその地質学的問題, 粘土科学, Vol. 2, № 3
11. 吉村尚久(1961) : 北海道渡島地域の中新世火山砕屑岩中の沸石, 地質学雑誌, Vol. 67, № 793
12. 太田出司(1949) : 大谷石の研究, 石材としての性質に就いて, 地質学雑誌, Vol. 55
13. 広川治・安藤武(1948) : 栃木県大谷石の包裹物について, 地質学雑誌, Vol. 54
14. 太田出司・須藤俊男(1949) : 大谷石の研究, 地質学雑誌, Vol. 55
15. 阿久津純(1960) : 土地分類基本調査, 表層地質説明書, 宇都宮(1/5万)
16. 安藤武・南雲昭三郎(1963) : 大谷採石地域地質測量調査報告, 東京通商産業局, p. 49 ~ 61
17. 安藤武・岡重文(1964) : 大谷採石地域地質測量調査報告, 東京通商産業局, p. 9 ~ 26